

**Efeito de adubos verdes sobre
frações de carbono orgânico do
solo na Chapada Diamantina - BA**



ISSN 1809-5003

Fevereiro, 2016

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 76

Efeito de adubos verdes sobre frações de carbono orgânico do solo na Chapada Diamantina - BA

Francisco Alisson da Silva Xavier

Fabiane Pereira Machado Dias

Polianna dos Santos de Farias

Raul Castro Carriello Rosa

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Cruz das Almas, BA

2016

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Rua Embrapa - s/n, Caixa Postal 007
44380-000, Cruz das Almas, Ba
Fone: (75) 3312-8048
Fax: (75) 3312-8097
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/
www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Aldo Vilar Trindade*

Secretária-executiva: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Membro: *Áurea Fabiana Apolinário de Albuquerque*

Cláudia Fortes Ferreira

Harllen Sandro Alves Silva

Herminio Souza Rocha

Jacqueline Camolese de Araujo

Marcio Eduardo Canto Pereira

Tullio Raphael Pereira Pádua

Léa Ângela Assis Cunha

Supervisão editorial: *Aldo Vilar Trindade*

Normalização bibliográfica: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Editoração e tratamento de imagem: *Maria da Conceição Pereira B. dos Santos*

Fotos da Capa: *Tullio Raphael Pereira de Pádua*

1ª edição

Versão online (2016).

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Efeito de adubos verdes sobre frações de C do solo na Chapada Diamantina
– BA. / Francisco Alisson da Silva Xavier... [et. al.]. – Dados eletrônicos.
– Cruz das Almas, BA : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016.

35p. il. . (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Mandioca e Fruticultura, ISSN 1809-5003; 76).

1. Solo. 2. Adubo verde. 3. Matéria orgânica. I. Xavier, Francisco Alisson da Silva. II. Dias, Fabiane Pereira Machado. III. Farias, Polianna dos Santos de. IV. Rosa, Raul Castro Carriello. VI. Título. VI. Série.

CDD 632.3 (21 ed.)

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	16
Conclusões	29
Agradecimentos	30
Referências	30

Efeito de adubos verdes sobre frações de carbono orgânico do solo na Chapada Diamantina - BA

Francisco Alisson da Silva Xavier¹

Fabiane Pereira Machado Dias²

Polianna dos Santos de Farias³

Raul Castro Carriello Rosa¹

Resumo

A adubação verde é uma prática cultural que visa, dentre outros benefícios, aumentar a cobertura do solo e incorporar matéria orgânica. Os teores totais de carbono (C) orgânico no solo são pouco alterados em curto prazo pelo manejo do solo, porém, algumas frações de C orgânico podem refletir mais rapidamente essas mudanças. Com o intuito de selecionar espécies para serem utilizadas como adubos verdes no sistema orgânico de produção de abacaxi, objetivou-se avaliar o efeito do cultivo de diferentes plantas de cobertura sobre os teores e estoques totais de C orgânico do solo e em diferentes frações da matéria orgânica. O experimento foi conduzido na Fazenda experimental da Empresa Bioenergia-Orgânicos, em delineamento em blocos inteiramente casualizados com três repetições, sob um Latossolo Vermelho Amarelo, na Chapada Diamantina, Município de Lençóis, BA. Os tratamentos de adubos verdes avaliados foram: feijão-de-porco – FP (*Canavalia ensiformis*), crotalária ochroleuca – CROT (*Crotalaria ochroleuca*), mucuna-preta – MUC (*Mucuna aterrima*), milheto – MILH (*Pennisetum*

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

²Estudante de mestrado do Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, bolsista FAPESB, Cruz das Almas, BA.

³Estudante de graduação do curso de Agronomia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA.

glaucum), sorgo forrageiro – SORG (*Sorghum bicolor*) e a combinação (50%) mucuna + sorgo – MUC + SORG. Para efeito de comparação, foi considerado um tratamento com a vegetação espontânea (VE) nativa como cobertura. Avaliou-se a produção de matéria seca e teores de nutrientes na fitomassa. No solo foram quantificados: os teores totais de C orgânico e nitrogênio (COT e NT); os conteúdos de matéria orgânica leve (MOL); frações de C orgânico com diferentes graus de oxidação; e teores de C na matéria orgânica particulada (C-MOP). Não houve efeito significativo entre os tratamentos para a produção fitomassa seca da parte aérea. As leguminosas apresentaram maior potencial de reciclagem de Ca, sendo 870% maior em relação às gramíneas. O tratamento FP foi o que promoveu maior estoque de Ca na fitomassa, seguido dos tratamentos CROT e MUC. Não houve efeito significativo do cultivo dos adubos verdes nos teores de COT e NT do solo nas profundidades avaliadas. As espécies CROT e SORG proporcionam aumento da matéria orgânica leve do solo. A combinação MUC + SORG é a opção de manejo que promove o maior equilíbrio entre as formas lábeis e não-lábeis de C orgânico no solo. A matéria orgânica leve e frações de C orgânico facilmente oxidáveis refletiram as alterações na matéria orgânica do solo promovidas pelo cultivo de adubos verdes, podendo ser considerados bons indicadores das práticas de manejo da cobertura do solo.

Termos para indexação: fração leve livre, matéria orgânica particulada, vegetação espontânea.

Effect of green manures on soil organic carbon fractions in the Chapada Diamantina - BA

Abstract

The use of green manures as cover crops is considered a suitable agricultural practice that promotes soil covering and increase soil organic matter contents. Recent changes on soil organic matter levels in function to soil management practices are few perceptible by evaluation of total soil organic carbon (C) contents. Nevertheless, some soil C fractions may reflect more rapidly such changes. Aiming to select species of green manures to be adopted by organic cultivation of pineapple, the objective of this work was to evaluate the effect of different cover crops on soil total organic C and N contents and in labile soil organic matter fractions. The experiment was performed in the experimental farm of Bioenergia-Orgânicos Company, settled in a completely randomized block design with three replications, in the municipality of Lençóis, Bahia State, Brazil. The soil studied was a Reddish-Yellow Latosol and the follow species were used as green manure: jack bean – FP (*Canavalia ensiformis*), slender leaf rattlebox – CROT (*Crotalaria ochroleuca*), velvet bean - MUC (*Mucuna aterrima*), pearl millet – MILH (*Pennisetum glaucum*), sorghum – SORG (*Sorghum bicolor*) and a blend (50%) of velvet bean + sorghum – MUC+SORG. In order to compare the effects of selected green manures, a treatment with spontaneous vegetation as cover crop was included. Dry matter production and nutrient contents of

plant biomass were quantified. Soil analyses were: total soil organic C and N contents (TOC and TN); extraction of light organic matter (LOM); oxidizable organic C fractions; and particulate organic matter C content (POM-C). There was no significant effect of green manure cultivation on dry matter production. The potential for Ca recycling by leguminous was 870% higher than grasses. The FP treatment promoted greater Ca stocks in biomass in relation to the other treatments, followed by CROT and MUC cover crops. Soil TOC and TN contents were not significantly affected by green manure cultivation in both soil layers. CROT and SORG species increased LOM amounts in the soil. The blend MUC + SORG was considered a suitable management option that promotes better balance between labile and non-labile organic C forms in the soil. LOM and easily oxidized organic C fractions reflected the changes on soil organic matter promoted by green manure cultivation. These fractions can be considered suitable indicators for detecting changes on soil organic carbon due to soil management practices.

Index terms: free light fraction, particulate organic matter, spontaneous vegetation.

Introdução

A concepção de um sistema agrícola conservacionista deve considerar estratégias de manejo que favoreçam o revolvimento mínimo do solo, a manutenção da cobertura e o aporte constante de matéria orgânica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). O uso de adubos verdes é considerado uma prática cultural que visa, dentre outros benefícios, aumentar a cobertura do solo, incorporar matéria orgânica, controlar a vegetação espontânea e manter a umidade do solo. Tais espécies são consideradas condicionadoras do solo, dada suas características de crescimento radicular e elevada produção de fitomassa (SUZUKI; ALVES, 2006). As leguminosas destacam-se pela característica que têm de incorporar quantidades significativas de nitrogênio do ar por meio da fixação biológica, como observado por Ambrosano et al. (2009), como também por possuírem raízes geralmente bem ramificadas, vigorosas e profundas, que atuam reciclando nutrientes, rompendo camadas compactadas ou endurecidas e incorporando matéria orgânica em profundidade (CARVALHO et al. 2003; CARVALHO et al. 2006). As gramíneas também podem ser utilizadas, pois são mais eficientes na agregação das partículas na subsuperfície do solo e promovem uma cobertura vegetal mais volumosa e de mais difícil decomposição do que as leguminosas (SALTON et al., 2008; MENEZES et al., 2009).

Entre os benefícios reconhecidos da adubação verde estão a maior (re)ciclagem de nutrientes e o aumento nos teores de C orgânico do solo. Gonçalves e Ceretta (1999) ponderam que o potencial de acúmulo de C orgânico no solo é regulado fundamentalmente pela quantidade de massa seca produzida pelas plantas de cobertura por fatores ambientais, como umidade do ar e temperatura, e pelas práticas de manejo do solo (FERNANDES et al., 1997). Assim, a escolha por uma ou outra espécie para ser incluída em um sistema de produção dependerá de avaliações realizadas na região, visando conhecer o real potencial das espécies de adubos verdes para o acúmulo de C orgânico no solo.

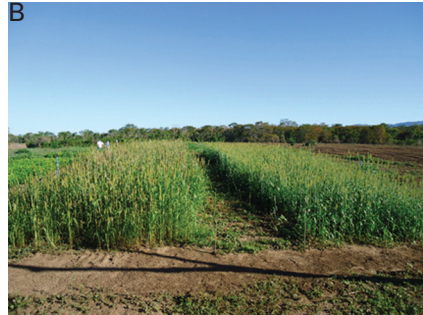
As mudanças nos teores totais de C orgânico do solo em função das práticas de manejo nem sempre são detectadas em curto prazo (XAVIER et al. 2013). Em função disso, considera-se a divisão do C orgânico do solo em compartimentos funcionais que, em razão de sua heterogeneidade, possuem dinâmicas distintas e respondem mais rapidamente às mudanças recentes ocorridas no solo em função do manejo (SEQUEIRA et al., 2011; BLANCO-MOURE et al., 2013). A análise destes compartimentos constitui a base para o entendimento da dinâmica do C orgânico no solo (CARTER, 2001). Frações lábeis de C orgânico do solo, tais como a matéria orgânica leve, C facilmente oxidável e C na matéria orgânica particulada têm sido utilizadas como indicadores sensíveis às mudanças nos níveis de C orgânico do solo provocadas pelas práticas de manejo do solo (MATOS et al., 2011; ROSSI et al., 2012; LOSS et al., 2013).

A hipótese do presente estudo é que os adubos verdes são capazes de aumentar os teores totais de C orgânico do solo e que frações lábeis do C orgânico do solo poderão refletir melhor tais mudanças. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os teores totais de C orgânico e N no solo e os teores de C em diferentes frações da matéria orgânica em função do uso de adubos verdes.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda da Empresa Bioenergia- Orgânicos, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico A moderado, textura argilosa, localizada na Chapada Diamantina, município de Lençóis, BA (12°36'27''S e 41°21'03''W, 439 m de altitude). Empregou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram a avaliação das espécies de adubos verdes: feijão-de-porco – FP (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), crotalaria oroleuca – CROT (*Crotalaria ochroleuca* G.Don), mucuna-preta – MUC (*Mucuna pruriens* (L.) DC),

milheto – MILH (*Pennisetum glaucum* R.Br), sorgo forrageiro – SORG (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e a combinação na proporção de 50% mucuna + sorgo – MUC+SORG (Figura 1). Anterior ao experimento, a área encontrava-se em pousio com o solo coberto pela vegetação espontânea.



Fotos: Francisco Alisson da Silva Xavier

Figura 1. Parcelas experimentais constituídas pelas espécies: (A) crotalária ochroleuca, (B) milheto (esq.) e sorgo forrageiro (dir.), (C) mucuna-preta, (D) mistura 50% sorgo + mucuna-preta, (E) feijão-de-porco e (F) vegetação espontânea nativa. Município de Lençóis, BA.

A semeadura foi feita a lanço, em parcelas experimentais de 6m x 30m. Para efeito de comparação, foi considerado um tratamento com a vegetação espontânea (VE) como cobertura. Os principais atributos do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, antes da implatação do experimento. Fazenda Ceral, Lençóis, BA, 2012

Atributos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
Areia, g kg ⁻¹	518	494	-
Silte, g kg ⁻¹	107	105	-
Argila, g kg ⁻¹	375	401	-
pH, H ₂ O	6,0	5,2	4,7
P (Mehlich-1), mg dm ⁻³	48	15	19
K, cmol _c dm ⁻³	0,27	0,21	0,18
Ca, cmol _c dm ⁻³	3,4	2,1	1,3
Mg, cmol _c dm ⁻³	2,1	1,3	0,8
Al, cmol _c dm ⁻³	0,0	0,5	0,9
H + Al, cmol _c dm ⁻³	3,8	6,2	8,0
SB, cmol _c dm ⁻³	5,85	3,65	2,34
CTC, cmol _c dm ⁻³	9,67	9,85	10,33
V, %	61	39	23

SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; (-): não determinado.

Os adubos verdes foram cultivados até o início da floração, de 90 a 120 dias, onde houve produção máxima de fitomassa. Ao final do ciclo de cultivo, foram feitas amostragens para a quantificação da produção de fitomassa, utilizando um quadrado metálico de dimensões 0,5 m x 0,5 m. Após a coleta, o material vegetal foi pesado em campo e em seguida encaminhado para secagem em laboratório usando estufa de circulação forçada a 60°C até atingir peso constante. Posteriormente, foi calculada a produção de fitomassa seca da parte aérea, sendo expressa em toneladas por hectare. Recolheram-se amostras do material

vegetal para determinação dos teores de C, N, P, Ca, Mg, K e S na fitomassa.

Após o ciclo de cultivo dos adubos verdes, aproximadamente 81 dias, a fitomassa da parte aérea foi roçada e mantida sobre o solo para decomposição natural visando a reciclagem de nutrientes e matéria orgânica (Figura 2). Optou-se por não fazer a incorporação do material utilizando operações agrícolas, como aração ou gradagem. A razão para tal foi de não eliminar o possível benefício das coberturas vegetais para a manutenção da qualidade física do solo, por meio da ação do sistema radicular das plantas de cobertura. Aos 60 dias após a roçada da fitomassa foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo das camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.



Fotos: Francisco Alisson da Silva Xavier

Figura 2. Roçada das coberturas vegetais e manutenção dos resíduos sobre o solo. Lençóis, BA, 2013.

Os teores de C orgânico total do solo (COT), foram obtidos por oxidação via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS e BREMNER, 1988). Os teores de N total (NT) foram dosados por meio de digestão sulfúrica seguida de destilação Kjeldahl conforme Tedesco et al. (1995). Os estoques de COT e NT do solo foram calculados como sendo:

$$\text{EstCOT ou NT (Mg ha}^{-1}\text{)} = [\text{COT ou NT}] \times \text{Ds} \times \text{E} \quad (1)$$

onde [COT ou NT] são os teores de COT ou NT em dag kg^{-1} ; Ds é a densidade do solo em g cm^{-3} ; e E a espessura da camada do solo em cm.

A matéria orgânica leve livre (MOL) do solo foi extraída por meio do fracionamento densimétrico de acordo com os procedimentos descritos por Sohi et al. (2001). Em tubos de centrífuga com capacidade para 50 ml foram adicionados 5 g de solo e 30 ml de Iodeto de Sódio (NaI) com densidade ajustada para $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. Os tubos foram agitados manualmente por 30 segundos para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais atingissem a superfície. Posteriormente as amostras foram centrifugadas a 8000 g durante 30 minutos. Após a centrifugação foi feita a aspiração do sobrenadante contendo a MOL utilizando um sistema de filtração à vácuo. Os filtros contendo a MOL foram cuidadosamente lavados com água destilada visando eliminar o excesso de NaI, secos estufa $\pm 65^\circ \text{C}$ por 48 horas e pesados. O conteúdo da MOL foi calculado subtraindo-se o peso do filtro considerado como amostra branco.

A matéria orgânica particulada (MOP) foi obtida por meio do fracionamento físico segundo método adaptado de Cambardella e Elliot (1992). Para promover a dispersão das partículas, amostras de 20 g de solo foram agitadas com 70 mL da solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) durante 15 horas em agitador horizontal. Posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 0,053 mm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste na MOP + fração areia, foi seco em estufa a aproximadamente 50°C , quantificado em relação à sua massa, moído e armazenado. Como adaptação ao método original, não se quantificou o teor de C associado à fração mineral (silte + argila) após o fracionamento, mas foram quantificados os teores de C no material retido na peneira (C-MOP + areia) por oxidação via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BRENNER, 1988). Os teores de C orgânico associado à fração mineral (COAm) foram calculados por diferença entre os teores de COT e C-MOP. Para determinar a proporção de C-MOP no solo (g C-MOP kg^{-1} de solo) considerou-se o teor da fração areia em relação à massa total de solo.

As frações de C com diferentes graus de oxidação foram obtidas utilizando-se concentrações crescentes de H_2SO_4 segundo método adaptado por CHAN et al. (2001). Os teores de C orgânico foram quantificados por oxidação com ácido sulfúrico na presença do dicromato de potássio sem aquecimento externo (WALKEY; BLACK, 1934). Para obtenção das diferentes frações foram utilizadas as doses de 2,5; 5 e 10 mL de H_2SO_4 concentrado, as quais corresponderam às concentrações de 3, 6 e 9 mol L^{-1} , respectivamente, mantendo-se constante a concentração de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em 0,167 mol L^{-1} (10 mL). Os teores de C orgânico determinados utilizando as diferentes doses de H_2SO_4 permitiram a separação de frações de C com diferentes graus de labilidade:

Fração 1 (3 mol L^{-1} H_2SO_4): carbono orgânico oxidado com de 3 mol L^{-1} .

Fração 2 (6 mol L^{-1} – 3 mol L^{-1} H_2SO_4): diferença do carbono orgânico oxidável extraído entre 6 e 3 mol L^{-1} H_2SO_4 .

Fração 3 (9 mol L^{-1} – 6 mol L^{-1} H_2SO_4): diferença do carbono oxidável extraído entre 9 e 6 mol L^{-1} H_2SO_4 .

Fração 4 (COT – 9 mol L^{-1} H_2SO_4): diferença entre o carbono orgânico total e o carbono extraído com H_2SO_4 9 mol L^{-1} .

Nesse estudo, o somatório dos teores de C orgânico recuperados nas frações 1 e 2 foi considerado como sendo C orgânico lábil (CL). Por outro lado, o somatório dos teores de C nas frações 3 e 4 representaram o C orgânico não lábil (CNL) do solo (BARRETO et al., 2011).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando significativo, as diferenças entre as médias foram verificadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5% com auxílio do programa estatístico ASSISTAT 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2006).

Resultados e Discussão

Produção de fitomassa e estoques de nutrientes

Não houve efeito significativo entre os tratamentos para a produção de matéria seca da fitomassa (Figura 3). Os conteúdos variaram de 3,2 a 6,6 t ha⁻¹. Observa-se que as gramíneas produziram cerca de 29% mais matéria seca do que as leguminosas, e a média geral das coberturas implantadas foi 23% maior que a média da vegetação espontânea.

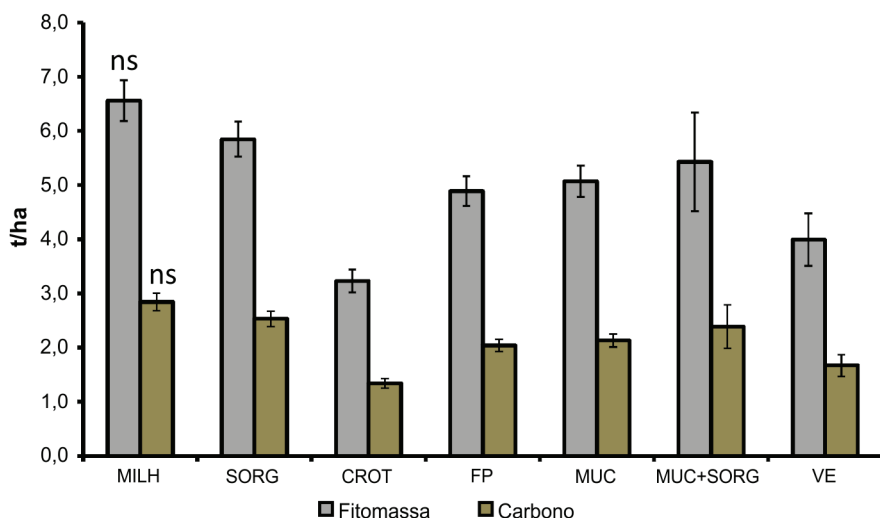


Figura 3. Produção de matéria seca e estoques de carbono da fitomassa da parte aérea de diferentes plantas de cobertura. MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: Crotalaria ochroleuca; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Barras verticais representam o desvio padrão da média. ns: diferença não significativa entre tratamentos pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade. Lençóis, BA, 2013.

Assim como para os conteúdos de matéria seca, não houve diferença significativa nos estoques de C na fitomassa da parte aérea entre os diferentes tratamentos avaliados (Figura 3). Os valores variaram de 1,34 a 2,84 t ha⁻¹, representando em média 42% da produção de matéria seca. Os estoques de C na fitomassa das gramíneas superaram, em média, 31% ao estoque médio encontrado nas leguminosas, o que sugere maior potencial das gramíneas para o

incremento de C orgânico no solo durante a reciclagem da fitomassa. Em relação à vegetação espontânea, o incremento médio de C na fitomassa com a implantação das coberturas foi de 24%.

Os estoques de nutrientes na fitomassa da parte aérea dos diferentes adubos verdes estão apresentados na tabela 2. A ordem geral de acúmulo dos nutrientes pelas plantas foi $N > Ca > K > Mg > S > P$.

Tabela 2. Estoques de nutrientes na fitomassa da parte aérea de diferentes adubos verdes e vegetação espontânea, Lençóis, Bahia, 2013

Cobertura vegetal	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
MILH	116,13 a	12,35 a	80,11 a	13,52 e	19,29 b	15,75 b
SORG	78,33 a	9,14 a	56,18 b	7,72 e	15,61 b	10,93 b
CROT	101,07 a	4,86 b	41,36 b	93,74 b	15,05 b	9,43 b
FP	101,66 a	6,75 b	45,99 b	143,78 a	27,32 a	27,91 a
MUC	105,45 a	6,03 b	50,75 b	70,77 c	17,69 b	14,14 b
MUC + SORG	149,23 a	10,46 a	51,61 b	39,07 d	17,20 b	12,21 b
VE	96,98 a	6,45 b	50,33 b	40,67 d	22,31 a	11,69 b
Média	106,98	8,01	53,76	58,47	19,21	14,58

MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: *Crotalaria ochroleuca*; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Não houve efeito significativo para os estoques de N na fitomassa entre os tratamentos avaliados. De modo geral, as leguminosas apresentaram apenas um incremento de 6% no estoque de N em relação às gramíneas e vegetação espontânea.

O P foi o elemento acumulado em menor quantidade pelas plantas. Os estoques variaram de 4,9 a 12,3 kg ha⁻¹, sendo maiores nos tratamentos que utilizaram gramíneas e na combinação MUC + SORG (Tabela 2). Estes resultados demonstram o maior potencial das gramíneas para a reciclagem de P na parte aérea, e que a combinação

leguminosa/gramínea é uma opção mais interessante em relação ao cultivo solteiro de leguminosa para o aumento da reciclagem deste elemento na fitomassa.

O estoque de K foi maior ($p < 0,05$) no tratamento MILH em relação aos demais, que não diferiram significativamente entre si. O potencial de reciclagem de K pelo tratamento MILH foi, em média, 62% maior que os demais.

As maiores diferenças nos estoques de nutrientes entre os tratamentos relacionaram-se com o elemento Ca. As leguminosas apresentaram maior potencial de reciclagem de Ca, com um incremento médio significativo de 870% a mais em relação às gramíneas. Entre as leguminosas, o tratamento FP foi o que promoveu maior estoque de Ca na fitomassa, seguido dos tratamentos CROT e MUC. O tratamento SORG foi o que apresentou menor estoque de Ca na fitomassa, indicando sua baixa eficiência em reciclar este nutriente.

Os estoques de Mg variaram de 15,1 a 27,3 kg ha⁻¹, sendo o tratamento FP aquele que apresentou o maior estoque deste nutriente em relação às demais coberturas implantadas. O tratamento VE apresentou estoques de Mg similar ao tratamento FP e maior que os demais, o que indica que as plantas espontâneas possuem um papel ecológico importante para a reciclagem de Mg no solo, tão quanto uma cobertura implantada.

Quanto aos estoques de S na fitomassa, o comportamento foi similar ao encontrado para o Mg, onde o tratamento FP apresentou maior estoque de S em relação aos demais.

Teores e estoques totais de C orgânico e N do solo

Os teores de C orgânico total (COT) do solo variaram de 17,3 a 19,8 g kg⁻¹ (Tabela 3). Não houve efeito significativo do cultivo dos adubos

verdes nos teores de COT do solo nas profundidades avaliadas. As mudanças nos teores totais de C orgânico do solo em função das práticas de manejo nem sempre são detectadas em curto prazo (XAVIER et al., 2013). A contribuição de plantas de coberturas nos teores totais de C orgânico deverá ocorrer e tornar-se mais evidente a partir de novos ciclos de cultivos.

Os teores de N total (NT) do solo variaram de 0,8 a 1,5 g kg⁻¹ (Tabela 3). Semelhante ao COT, não houve efeito significativo do cultivo dos adubos verdes sobre os teores de NT, com exceção do tratamento MUC na camada de 10-20 cm, que apresentou redução do teor de NT em relação aos demais tratamentos. A parcela com a cobertura VE apresentou teores de COT e NT do solo similar às parcelas com adubos verdes, o que sugere que essas plantas também contribuem para a manutenção e/ou aumento de C orgânico e N no solo.

Os estoques de COT e NT do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm estão apresentados na Tabela 3. De modo geral, não houve efeito significativo do cultivo dos diferentes tipos de adubos verdes sobre os estoques de COT no solo, com exceção do tratamento CROT na camada de 10-20 cm, que apresentou maior estoque de COT em relação aos demais, representando um incremento médio de 3,7 Mg C ha⁻¹. Possivelmente o aumento no estoque de C orgânico no tratamento CROT em subsuperfície deve-se à maior presença de raízes, fato constatado visualmente em campo no momento da amostragem de solo. Entretanto, o dimensionamento da fitomassa radicular das diferentes espécies não foi realizado, o que sugere uma ação futura de pesquisa visando dar mais suporte à hipótese levantada. Os resultados de estoques de NT do solo, de modo geral, seguiram a mesma tendência do COT. Não houve efeito significativo do cultivo dos adubos verdes sobre os estoques de NT do solo nas camadas avaliadas (Tabela 3), com exceção do tratamento MUC na camada de 10-20 cm que apresentou menor estoque de NT em relação aos demais.

A análise do somatório dos estoques de COT e NT obtidos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm permitiu a avaliação do potencial de

Tabela 3. Densidade do solo, teores e estoques de C orgânico total (COT) e N total (NT) do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm em função do cultivo de diferentes plantas de cobertura, Lençóis, Bahia, 2013

Cobertura vegetal	Ds g cm ⁻³	COT ----- g kg ⁻¹ -----	NT -----	COT ----- Mg ha ⁻¹ -----	NT -----
0-10 cm					
MILH	1,31 a	18,84 a	1,36 a	24,68 a	1,78 a
SORG	1,33 a	19,08 a	1,23 a	25,38 a	1,64 a
CROT	1,37 a	19,84 a	1,33 a	27,18 a	1,82 a
FP	1,31 a	18,24 a	1,23 a	23,89 a	1,61 a
MUC	1,34 a	17,52 a	1,14 a	23,48 a	1,53 a
MUC + SORG	1,24 a	18,88 a	1,53 a	23,41 a	1,90 a
VE	1,27 a	18,40 a	1,27 a	23,37 a	1,61 a
10-20 cm					
MILH	1,31 a	18,44 a	1,29 a	24,16 b	1,69 a
SORG	1,33 a	17,52 a	1,25 a	23,30 b	1,66 a
CROT	1,37 a	19,68 a	1,44 a	26,96 a	1,97 a
FP	1,31 a	17,28 a	1,16 a	22,64 b	1,52 a
MUC	1,34 a	17,44 a	0,77 b	23,37 b	1,03 b
MUC + SORG	1,24 a	17,96 a	1,44 a	22,27 b	1,79 a
VE	1,27 a	18,08 a	1,19 a	22,96 b	1,51 a
Σ 0-20 cm					
MILH	-	-	-	48,84 b	3,47 a
SORG	-	-	-	48,68 b	3,30 a
CROT	-	-	-	54,14 a	3,79 a
FP	-	-	-	46,53 b	3,13 a
MUC	-	-	-	46,85 b	2,56 a
MUC + SORG	-	-	-	45,68 b	3,68 a
VE	-	-	-	46,33 b	3,12 a

MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: *Crotalaria ochroleuca*; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, dentro de cada profundidade separadamente, não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. (-): não determinado. * 1 Mg = 1 tonelada.

estoque de C e N no perfil de 0-20 cm (Tabela 3). Observou-se que o tratamento CROT aumentou significativamente o estoque de COT em $7,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em relação à média geral dos demais tratamentos (Tabela 3), indicando que dentre as espécies de adubos verdes avaliadas a crotalária pode ser considerada uma boa opção para o aumento do sequestro de C orgânico no solo. Fazendo uma análise nos estoques de NT no perfil de 0-20 cm, embora não tenham ocorrido diferenças significativas, observa-se que existe a tendência do tratamento CROT aumentar o estoque de NT em relação às demais. Os estoques de COT e NT no tratamento VE na camada de 0-20 cm foram similares aos encontrados nos tratamentos com coberturas vegetais implantadas, mostrando que a manutenção da vegetação espontânea na área, quando não há disponibilidade do plantio de adubos verdes, constitui-se uma opção de manejo mais sustentável do ponto de vista de sequestro de carbono orgânico no solo do que manter o solo descoberto, prática comumente adotada em áreas de cultivos convencionais de fruteiras.

Matéria orgânica leve

A matéria orgânica leve (MOL) é uma fração da matéria orgânica do solo constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição e apresenta um tempo de residência no solo que varia de 1 a 5 anos (JANZEN et al., 1992). A MOL é considerada um compartimento importante da matéria orgânica do solo, pois representa uma fonte de energia para os microrganismos, atua na formação dos agregados do solo (SIX et al., 2000) e é sensível às práticas de manejo (FRAZÃO et al., 2010). Os conteúdos de MOL do solo na camada de 0-10 cm variaram de $4,5$ a $16,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4).

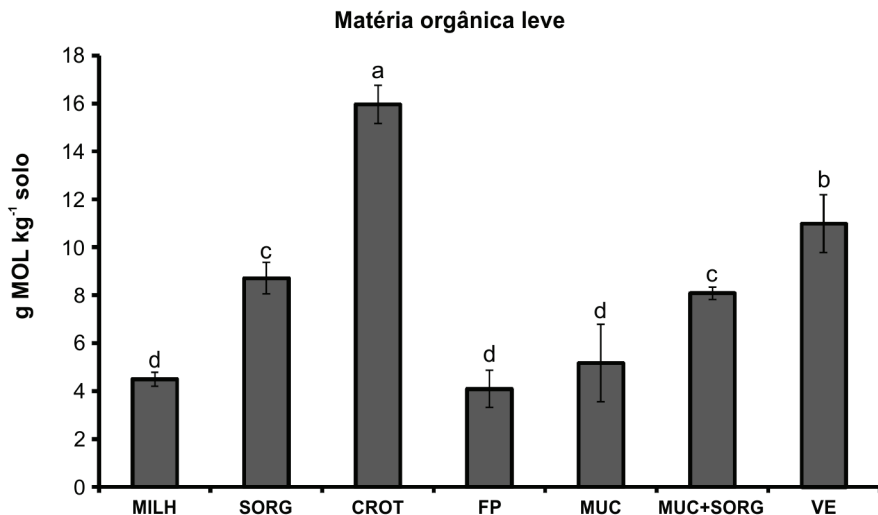


Figura 4. Conteúdos de matéria orgânica leve (MOL) do solo extraída da profundidade de 0-10 cm em função do uso de diferentes adubos verdes. MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: Crotalaria ochroleuca; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Os conteúdos de MOL do solo foram afetados significativamente pelo cultivo dos adubos verdes. O tratamento CROT foi o que proporcionou maior quantidade de MOL no solo, representando um aumento de 62% em relação à média dos demais tratamentos. É possível que o aumento de MOL no tratamento CROT esteja associado com a maior abundância do sistema radicular dessa espécie. Ao mesmo tempo, o aumento de MOL está associado com o maior estoque de COT observado para esse tratamento. Entre as gramíneas, o tratamento SORG promoveu maior conteúdo de MOL quando comparado ao MILH (Figura 4). O cultivo combinado MUC + SORG favoreceu o aumento significativo de MOL em relação ao cultivo solteiro de MUC, indicando que a inclusão de uma gramínea ao tratamento com leguminosa é mais indicado para promover aumento na quantidade de MOL do solo. Os tratamentos FP e MUC promoveram os menores conteúdos de MOL no solo, o que pode estar relacionado com a rápida taxa de decomposição

da fitomassa dessas espécies, conforme observado no ensaio da dinâmica da decomposição (dados não apresentados). Com exceção do tratamento CROT, a vegetação espontânea proporcionou maiores ($p < 0,05$) conteúdos de MOL em relação aos demais adubos verdes (Figura 4), sugerindo que esta vegetação possui um papel ecológico importante para manutenção da ciclagem da MOL no solo, o que permitirá a manutenção do equilíbrio da fauna do solo (macro e micro) uma vez que esta fração é considerada fonte de energia para estes organismos (JANZEN et al., 1992). Considerando o cálculo do estoque de MOL na camada de 0-10 cm^y, os resultados indicam que a retirada da vegetação espontânea e manutenção do solo descoberto ('no limpo') pode representar uma perda aproximada de 14 toneladas de MOL por hectare na camada de solo com espessura de 10 cm.

Os estoques de C-MOL na camada de 0-10 cm variaram de 1,5 a 6,0 Mg ha⁻¹ (Figura 5). O tratamento CROT aumentou significativamente os estoques de C-MOL em relação aos demais tratamentos, indicando o maior potencial desta espécie para o sequestro de C orgânico no solo. Nesse tratamento, o estoque de C-MOL representou 22% do estoque de COT. O tratamento VE superou em média 1,6 Mg C ha⁻¹ os estoques de C-MOL apresentados nos tratamentos MILH, FP e MUC, evidenciando que a vegetação espontânea também pode ser tão eficiente quanto uma cobertura implantada para a manutenção dos níveis de C orgânico no solo. A retirada total da vegetação espontânea pode representar perdas de até 3,2 toneladas de C-MOL por hectare na camada superficial do solo (Figura 5).

A MOL mostrou-se um compartimento mais sensível às mudanças promovidas pelas práticas de manejo em comparação aos COT, onde não foram constatadas mudanças significativas. Portanto, a quantificação deste compartimento da matéria orgânica do solo constitui-se uma ferramenta importante para o monitoramento das mudanças na dinâmica do C orgânico do solo promovidas pelo manejo.

^y Estoque de MOL (t ha⁻¹) = MOL (dag kg⁻¹) x densidade do solo (g cm⁻³) x espessura da camada (cm).

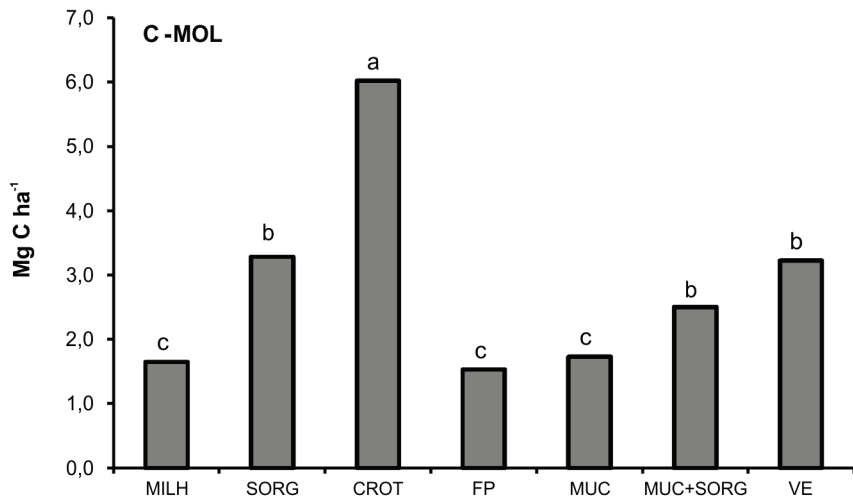


Figura 5. Estoques de carbono da matéria orgânica leve (C-MOL) do solo extraída da profundidade de 0-10 cm em função do uso de diferentes adubos verdes. MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: *Crotalaria ochroleuca*; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras verticais representam o desvio padrão da média. * 1 Mg = 1 tonelada.

Frações de C com diferentes graus de oxidação

Os teores de C orgânico em frações com diferentes graus de oxidação estão apresentados na Tabela 4. A labilidade (biodisponibilidade) das frações de C orgânico diminui da fração F1 para a F4. Os teores de C entre as frações variaram de 0,7 a 11,7 g kg⁻¹. Os teores de C-F1 foram afetados significativamente pelo manejo dos adubos verdes. Na camada de 0-10 cm, os maiores teores de C-F1 foram observados nos tratamentos VE e MUC + SORG e os menores nos tratamentos MUC e MILH. Entre as gramíneas, o tratamento SORG aumentou significativamente os teores de C-F1 em relação ao MILH em ambas profundidades, indicando que o cultivo de sorgo é a gramínea mais interessante para o aumento de C orgânico de maior labilidade no solo. Segundo Graaff et al. (2010) o C-F1 é uma importante fonte de energia

Tabela 4. Frações de C orgânico do solo com diferentes graus de oxidação e índices de labilidade do C nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função do uso de diferentes adubos verdes, Lencóis, BA, 2013

Cobertura vegetal	Frações de C ⁿ				Índices				
	F1	F2	F3	F4	C _L	C _{NL}	C _L /C _{NL}	C _L /COT	C _{NL} /COT
	----- g kg ⁻¹ -----								

/1 Fração 1 (F1) = 3mol L⁻¹ H₂SO₄; Fração 2 (F2) = 6 mol L⁻¹ - 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; Fração 3 (F3) = 9 mol L⁻¹ - 6 mol L⁻¹ H₂SO₄; Fração 4 (F4) = COT - 9 mol L⁻¹ H₂SO₄; COT: Carbono orgânico total; C_L: Carbono lábil (F1 + F2); C_{NL}: Carbono não lábil (F3 + F4). MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: Crotalaria ochroleuca; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, dentro de cada profundidade e fração separadamente, não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

para os microrganismos do solo, portanto, sua presença é fundamental para a manutenção da atividade microbiana que por sua vez tem influência sobre a funcionalidade de processos importantes no solo, como a ciclagem de nutrientes. O cultivo combinado MUC + SORG aumenta significativamente os teores de C-F1 em relação aos cultivos solteiros MUC e SORG na camada superficial, sugerindo que esta é uma opção de manejo mais desejável para o aumento do C orgânico de maior labilidade no solo. O C-F1 mostrou-se um indicador mais sensível às mudanças no C orgânico do solo em função do manejo quando comparado aos teores de COT (Tabela 3), corroborando com o estudo de BARRETO et al. (2011).

Neste estudo, considerou-se o somatório dos teores de C nas frações F1 + F2 como sendo a porção lábil do C orgânico do solo (C_L) e somatório F3 + F4 como o compartimento de C orgânico não lábil (C_{NL}), o que permite uma análise mais consistente dos dados. De modo geral, o C_L representou, em média, 36% do COT do solo. Os tratamentos MUC, CROT e MUC + SORG aumentaram os teores de C_L na camada de 0-10 cm em relação aos demais tratamentos. Entre as leguminosas, o tratamento FP foi o que proporcionou menor teor de C_L nesta profundidade. O cultivo combinado MUC + SORG aumentou os teores de C_L também em subsuperfície, reforçando a hipótese discutida por Boddey et al. (2012) de que a combinação leguminosa/gramínea é mais importante no processo de aumento de C orgânico no solo do que cultivos solteiros de ambas espécies. O C_{NL} representou, em média, 64% do COT do solo (Tabela 4) indicando que a maior proporção do C orgânico do solo está contida em estruturas orgânicas de maior estabilidade. Estes resultados refletem a dinâmica da matéria orgânica em ambiente tropical, onde os processos de transformação da matéria orgânica do solo são mais intensos, favorecendo a humificação do C orgânico (STEVENSON, 1994). Na camada de 0-10 cm, os teores de C_{NL} praticamente não foram afetados pelo cultivo dos adubos verdes, com exceção do tratamento MUC que apresentou menor teor em relação aos demais. Segundo Guareschi e Pereira (2013) as frações de C_{NL} necessitam de um tempo maior para serem modificados, pois estas

estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da matéria orgânica do solo. Na camada de 10-20 cm, o tratamento CROT aumentou significativamente o teor de C_{NL} em relação às demais coberturas. A predominância de C_{NL} é importante para o processo de manutenção da reserva orgânica do solo, portanto, o manejo da cobertura do solo deve priorizar espécies que não só favoreçam o aumento de C_L , que é rapidamente oxidado, mas de C_{NL} no solo que é fundamental para geração de sítios de troca na matéria orgânica, atributo importante para aumento da capacidade de troca de cátions do solo.

Matéria orgânica particulada

Os teores de C na matéria orgânica particulada (C-MOP) estão apresentados na Tabela 5. De modo geral, não foi observado efeito significativo do cultivo de adubos verdes sobre os teores de C-MOP, com exceção do tratamento FP na camada de 0-10 cm que apresentou menor teor de C-MOP em relação aos demais. Estes resultados indicam que o C-MOP não foi sensível para detectar as mudanças do manejo em curto prazo, discordando de outros estudos na literatura que apontam esta fração como um bom indicador das mudanças nos teores de matéria orgânica do solo em função das práticas de manejo (BAYER et al., 2004; BLANCO-MOURE et al., 2013). O C-MOP representou em média 28 e 35% do COT do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Esses valores são próximos aos percentuais obtidos na relação C_L/COT (Tabela 4), o que sugere que a MOP pode ser considerada um compartimento lábil da matéria orgânica do solo, portanto, fundamental para manutenção da atividade microbiana e ciclagem de nutrientes.

Tabela 5. Teores de C na matéria orgânica particulada (C-MOP), C orgânico associado aos minerais (COAm) e proporções destas frações em relação ao C orgânico total (COT) do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em função do uso de diferentes adubos verdes, Lençóis, BA, 2013

Cobertura vegetal	C-MOP ----- g C kg ⁻¹ solo -----	COAm ¹	C-MOP/COT ----- % -----	COAm/COT
0-10 cm				
MILH	6,12 a	12,72 b	32,5 a	67,5 b
SORG	5,97 a	13,11 b	31,3 a	68,7 b
CROT	5,40 a	14,44 a	27,2 a	72,8 b
FP	3,75 b	14,49 a	20,5 b	79,5 a
MUC	5,72 a	11,80 b	32,6 a	67,4 b
MUC + SORG	6,05 a	12,83 b	32,0 a	68,0 b
VE	4,00 a	14,40 a	21,9 a	78,1 a
10-20 cm				
MILH	6,59 a	11,85 b	35,8 a	64,2 a
SORG	5,80 a	11,72 b	33,0 a	67,0 a
CROT	5,33 a	14,35 a	27,1 a	72,9 a
FP	5,79 a	11,49 b	33,4 a	66,6 a
MUC	7,69 a	9,75 b	44,1 a	55,9 a
MUC + SORG	6,65 a	11,31 b	37,1 a	62,9 a
VE	6,37 a	11,71 b	35,3 a	64,7 a

MILH: milho; SORG: sorgo; CROT: *Crotalaria ochroleuca*; FP: feijão-de-porco; MUC: mucuna-preta; MUC + SORG: combinação 50% sorgo + mucuna-preta; VE: vegetação espontânea. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, dentro de cada profundidade e fração separadamente, não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. ¹COAm = (COT) – (C-MOP).

Os teores de C orgânico associado aos minerais (COAm) variaram de 9,7 a 14,5 g kg⁻¹ (Tabela 5). Os tratamentos CROT, FP e VE aumentaram significativamente os teores de COAm em relação aos demais na camada de 0-10 cm. O mesmo comportamento foi verificado na camada de 10-20 cm para o tratamento CROT. O COAm representou em média 72 e 65% do COT do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com outros estudos

desenvolvidos em solos tropicais, onde a dinâmica de decomposição é mais acelerada, fazendo com que a maior parte do reservatório orgânico do solo esteja associado à matriz mineral (FREIXO et al., 2002; BAYER et al., 2004; DIEKOW et al., 2005). Entre os adubos verdes avaliados, os tratamentos FP e CROT apresentaram as maiores proporções COAm/COT, cerca de 73% do COT, indicando que estas espécies favorecem o predomínio de formas de C orgânico de maior estabilidade. Esses resultados corroboram com a análise das frações de C com diferentes graus de labilidade (Tabela 4), em que os mesmos tratamentos aumentaram a proporção de C_{NL} no solo.

Conclusões

- Os teores totais de C orgânico e N do solo não são alterados pelo cultivo de adubos verdes em um ciclo de cultivo das coberuras, que variou de 90 a 120 dias.
- As espécies crotalária e sorgo proporcionam aumento da matéria orgânica leve do solo, assim como a combinação mucuna + sorgo aumenta a proporção dessa fração em relação ao cultivo solteiro com mucuna. A vegetação espontânea possui um papel importante para a manutenção da matéria orgânica leve no solo tanto quanto a adubação verde com leguminosas ou gramíneas.
- A combinação mucuna + sorgo é a opção de manejo que promove o maior equilíbrio entre as formas lábeis e não-lábeis de C orgânico no solo. As espécies crotalária e feijão de porco favorecem o predomínio de frações mais estabilizadas do C orgânico do solo, o que representa opções de manejo mais interessantes para manutenção da reserva orgânica do solo. A maior parte do C orgânico do solo está associada aos minerais em formas de baixa biodisponibilidade.

- A matéria orgânica leve e frações de C orgânico facilmente oxidáveis refletiram as alterações na matéria orgânica do solo promovidas pelo cultivo de adubos verdes, podendo ser considerados bons indicadores das práticas de manejo da cobertura do solo. Por outro lado, a matéria orgânica particulada não detectou as mudanças promovidas pelo manejo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Bioenergia Orgânicos pela concessão da área de estudo e apoio técnico-logístico durante a condução das atividades no campo. Este projeto foi desenvolvido com recursos provenientes do convênio Embrapa-Bioenergia Orgânicos e do Macroprograma 3 da Embrapa (projeto SEG nº 03.11.07.005.00.00). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, pela concessão da bolsa de mestrado de F.P.M. Dias.

Referências

- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.;
AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.;
GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Sci. Agric.**, v. 66, p.386-394, 2009.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforest Syst.**, v. 81, p. 213–220, 2011.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 39, p. 677-683, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BLANCO-MOURE, N.; GRACIA, R.; BIELSA, A. C.; LÓPEZ, M.V. Long-term no-tillage effects on particulate and mineral-associated soil organic matter under rainfed Mediterranean conditions. **Soil Use Manag.**, v. 29, p. 250–259, 2013.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D.M.B.P.; MACHADO, P. L. O. A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidades e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M.A.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; MACHADO, P.L.O.A.; URQUIAGA, S. (Ed.) **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p.33-82.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organicmatter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI, 2001. p. 9-22.

CARVALHO, J. E. B.; SANTOS, R. C.; SOUZA, A. L.V. Novo preparo e manejo do solo no controle do mato – contribuição ao desenvolvimento do sistema radicular dos citros. Cruz das Almas, BA: Embrapa, 2003. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado técnico, 85).

CARVALHO, J. E. B.; DIAS, R. C. S.; MELO FILHO, J. F. Produção integrada de Citros x Convencional Impacto sobre a qualidade do solo. Cruz das Almas, BA; Embrapa, 2006. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Comunicado técnico, 118).

CHAN, K.Y., BOWMAN, A., OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil. Sci.**, v. 166, p. 61-67, 2001.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant Soil**, v. 268, p. 319–328, 2005.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v. 79, p. 49-67, 1997.

FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I. K.S.; CAMPOS, D. V. B.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 45, p. 1198-1204, 2010.

FREIXO, A. F.; MACHADO, P. L.O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F.S. Soil organic and fractions of Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 64, p. 221-230, 2002.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

GRAAFF, M.; CLASSEN, A.T.; CASTRO, H. F.; SCHADT, C. W. Labile soil carbon inputs mediate the soil microbial community composition and plant residue decomposition rates. **New Phytol.**, v. 188, p. 1055–1064, 2010.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob sistemas de aléias. **Pesq. Flor. Bras.**, v. 33, p. 74, 2013.

JANZEN, H. H., CAMPBELL, C. A., BRANDT, S. A., LAFOND, G. P., TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soil from long-term crop rotations. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 56, p. 1799-1806, 1992.

LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **R. Ci. Rural**. v. 43, p. 426-432, 2013.

MATOS, E.S.; FREESE, D.; MENDONÇA, E.S.; SLAZAK, A.; HÜTTL, R.F. Carbon, nitrogen and organic C fractions in topsoil affected by conversion from silvopastoral to different land use systems. **Agroforest Syst.**, v. 81, p. 203–211, 2011.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; FERREIRA, A. C. B.; SANTANA, J. G.; BARROS, R. G. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Biosci. J.**, v. 25, p. 7-12, 2009.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**. v. 43, p. 38-46, 2012.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SEQUEIRA, C. H.; ALLEY, M. M.; JONES, B. P. Evaluation of potentially labile soil organic carbon and nitrogen fractionation procedures. **Soil. Biol. Biochem.**, v. 43, p. 438-444, 2011.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A.V. A. New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE; 26th., July 24 to, 2006; Orlando-FL-USA; Orlando-FL-USA. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-6.

SIX, J., ELLIOT, E. T., PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil. Biol. Biochem.**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

SOHI, S., MAHIEU, N., ARAH, J.R.M., POLWSON, D.S.P., MADARI, B., GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reaction.** New York: John Wiley & Sons, 1994.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, p. 121-127, 2006.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S.I. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29–38, 1934.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; RIBEIRO, K. A.; MENDONÇA, E. S.; OLIVEIRA, T. S. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agr. Ecosyst. Environ.**, v. 165, p. 173– 183, 2013.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.



Mandioca e Fruticultura

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 12539